En quête d'énergies nouvelles - 3

Canada

87-01153/

L'énergie géothermique

par Sean McCutcheon

À droite:
Le flux intarissable de chaleur de la Terre est la source de l'énergie géothermique. La Terre est chaude; son manteau est plus chaud que sa croûte et son noyau, plus chaud encore. La majeure partie des milliards de kilomètres cubes de la planète est à une température égale ou supérieure au point habituel de fusion de la roche.

À gauche:
Mesure de la température de l'eau jaillissant d'un puits creusé au site des sources chaudes du mont Meager, en Colombie-Britannique.

Réalisé pour le compte d'Énergie, Mines et Ressources Canada
et du Conseil national de recherches Canada
par **Sean McCutcheon & Associés**

Illustré par Bruce Johnson
Conception graphique et couverture: René Barsalo
Dessin p. 2 par John Bianchi

Photographies:

Verso de la couverture, _____ B.C. Hydro
p. 4 _____ U.S. Department of the Interior, Geological Survey
p. 7, 9 _____ Fotokhronika Tass, gracieusement communiquée par *Renewable Energy News*
p. 7, 17 _____ Pacific Gas and Electric Company
p. 16 _____ National Publicity Studios. Wellington. Nouvelle-Zélande
p. 18 _____ *Vancouver Province*
p. 20 _____ Énergie, Mines et Ressources Canada

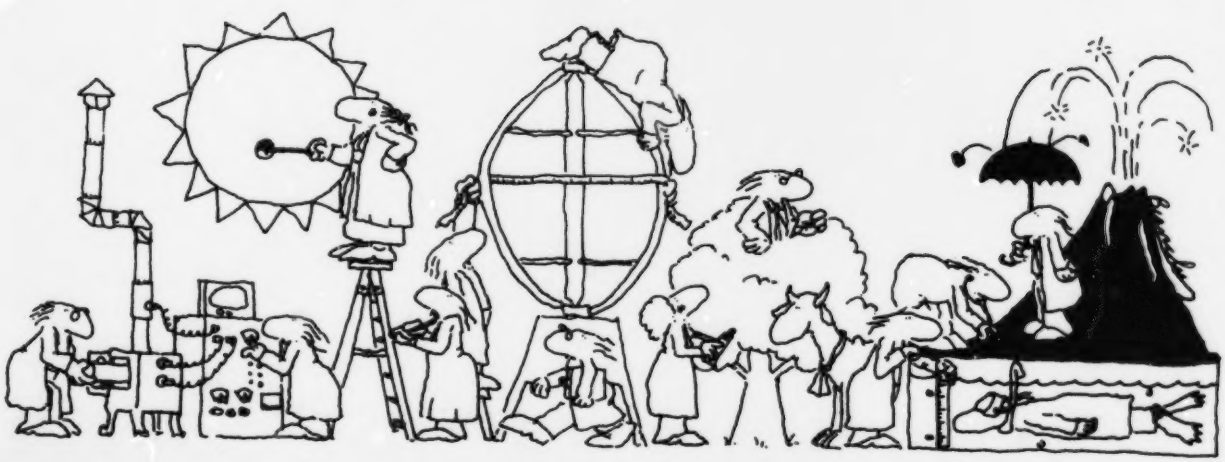
Nous sommes tout particulièrement reconnaissants à MM. David Crossley, Alan Jessop et Ralph Overend d'avoir bien voulu nous faire profiter de leurs connaissances.

Copyright 1983; ministre des Approvisionnements et Services
ISBN 0-662-92516-5
N° de catalogue NR53-2/3-1984F

Avant-propos

Malgré l'abondance des réserves mondiales en combustibles fossiles on constate que leur exploitation devient de plus en plus difficile et onéreuse en maintes régions du globe. Le traumatisme causé par la réduction des approvisionnements en pétrole au début des années 70 a amorcé la recherche d'énergies de remplacement, renouvelables ou inépuisable, pour conjurer le spectre de l'épuisement des ressources, des pénuries de combustible et des bouleversements sociaux qu'ils entraînent. Le Canada s'est attelé depuis quelques années à la recherche, au développement et à la démonstration de plusieurs formes d'énergie nouvelles et l'objet de cette brochure est de vous tenir au courant des progrès accomplis en vue de leur utilisation.

L'énergie géothermique est tirée de ce gisement fantastique que constitue la chaleur emprisonnée dans la croûte terrestre. Le programme canadien a pris du retard sur ceux de l'étranger en raison de la profusion et du prix moins élevé des combustibles dont disposaient les Canadiens jusqu'à la dernière décennie. L'amélioration des techniques d'exploration dans les pays qui utilisent l'énergie géothermique a permis de découvrir de nouvelles sources de cette énergie. Par ailleurs, le coût des combustibles fossiles au Canada a considérablement augmenté. Ces facteurs montrent qu'il faudra de plus en plus faire appel à l'énergie géothermique pour la production d'électricité et le chauffage des locaux d'habitation au cours des 20 prochaines années.



Sommaire

La mise en exploitation de nouvelles centrales hydrauliques et de nouveaux gisements de combustibles fossiles, quoique en déclin, ralentira quelque peu les applications géothermiques. On disposera par contre ainsi de plus de temps pour améliorer les équipements d'exploitation géothermique et les techniques d'évacuation des eaux résiduaires qui affectent l'environnement.

Grâce à l'exploration on a pu dresser et publier une carte des ressources géothermiques canadiennes. Le processus coûteux qui permet de passer de ressources supputées aux gisements réels suivra son cours jusqu'à ce que des démonstrations du genre de celles qui sont décrites dans les pages suivantes soient commandées et que l'on gagne de l'expérience. Nous espérons que la présente décennie sera mise à profit pour jeter les bases de l'avenir géothermique canadien.

Programme de recherche et de développement énergétiques
Conseil national de recherches Canada

Direction du charbon et des énergies de rechange
Énergie, Mines et Ressources Canada

Perspective canadienne

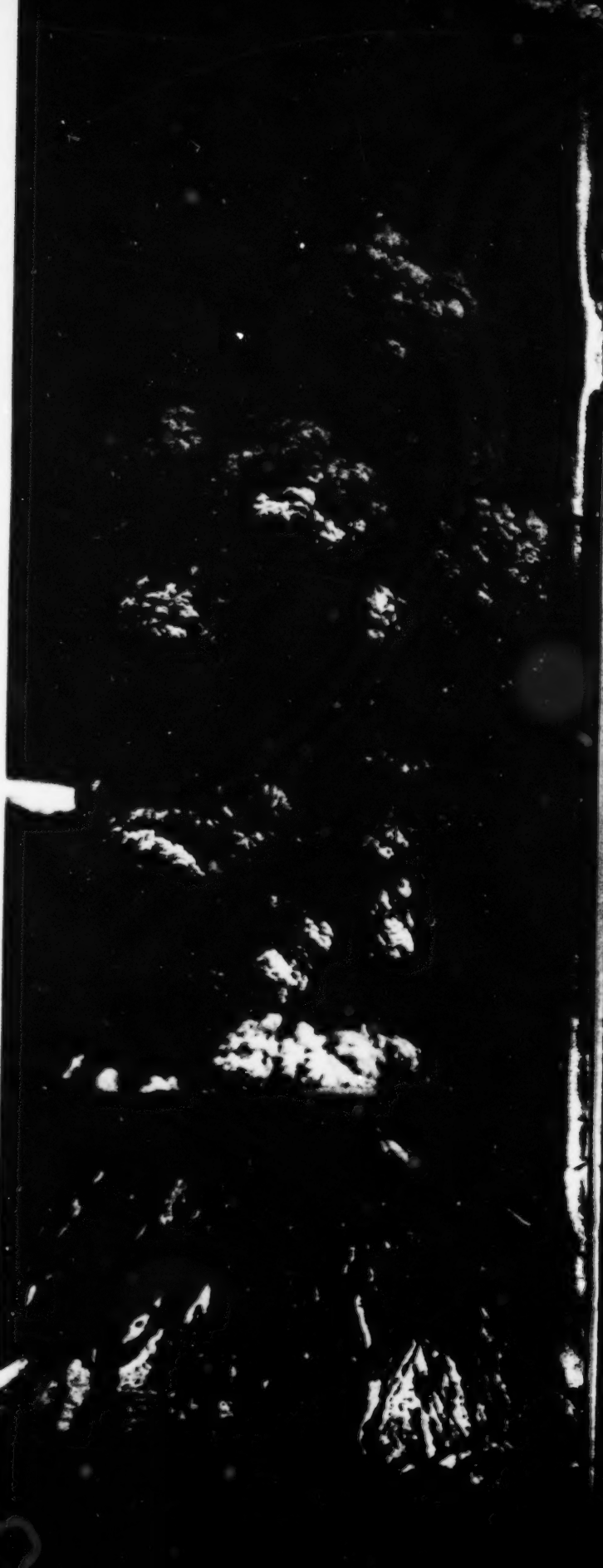
Il y a une grande route qui part de Vancouver en direction du nord. Elle longe un fjord, puis serpente entre de majestueuses montagnes pour donner, au bout d'une centaine de kilomètres, dans la vallée isolée de Pemberton Meadows. De là nous empruntons un chemin de débardage allant vers le nord-ouest et qui, quelque 40 km plus loin, nous amène à notre destination: les mares fumantes d'un groupe de sources chaudes. L'eau qui coule de ces sources peut ébouillanter; à certains endroits, sa température dépasse 50° C. La parcelle de gravier et de grosses pierres où se trouvent les sources est toujours chaude et dénudée, même après d'abondantes chutes de neige.

Ces sources chaudes sont situées sur le versant d'un complexe montagneux englacé dont quatre des pics escarpés atteignent 2 750 m de hauteur. C'est le mont Meager, qui se dresse à une extrémité de la chaîne à laquelle appartient le mont St. Helens et qui, comme son célèbre voisin, est un volcan.

Au cours des millénaires, la pression énorme causée par la roche en fusion a poussé cette dernière depuis les entrailles de la Terre jusqu'à la surface par des cheminées naturelles. La dernière de ces nombreuses éruptions s'est produite il y a environ 2 500 ans et l'explosion a été si violente qu'on peut encore en voir les cendres dans les Rocheuses et à la périphérie ouest des Prairies. Le mont Meager est maintenant en repos, mais ses racines rocheuses, d'où provient l'impressionnant flot d'énergie que renferment les sources, sont de toute évidence encore chaudes.

Des géologues et des équipes de forage ont exploré les racines du mont Meager, sondant un réservoir souterrain de roche poreuse remplie de vapeur et d'eau à des températures dépassant 200° C. Ils ont peut-être découvert une marmite à pression naturelle qui soit assez grosse, assez chaude et qui offre une pression suffisante pour alimenter une centrale. Ici, pour la première fois au Canada, nous pourrons peut-être produire de l'électricité en partant de l'énergie géothermique.

L'énergie géothermique, c'est de l'énergie sous forme de chaleur. Il y a toujours de la chaleur qui monte du centre de la Terre par le sol rocheux que nous foulons. Elle est distribuée en tous points de la surface mais, en règle générale, de façon diffuse. C'est seulement aux endroits où la nature a concentré ce flux d'énergie que nous pouvons l'exploiter. Ainsi, nous pouvons produire



Le mont St. Helens, dimanche matin le 18 mai 1980.

de l'électricité à partir de poches de vapeur ou d'eau chaude qui se trouvent ici et là dans les roches volcaniques. Nous pouvons chauffer nos immeubles et l'eau d'usage domestique et industriel, en pompant l'eau chaude dont sont imprégnées les roches sédimentaires à divers endroits. De plus, l'énergie extraite se renouvellera ultérieurement grâce au flux ininterrompu de chaleur qui monte de l'intérieur de la Terre. Toutefois, le processus n'est pas instantané: il faut probablement beaucoup plus de temps pour réchauffer un réservoir géothermique que pour le refroidir. Il est en outre difficile d'estimer avec exactitude la durée utile des réservoirs géothermiques parce qu'aucun n'a encore été vidé. Quelques projets d'exploitation de l'énergie géothermique ont libéré des polluants chimiques dans l'environnement, mais des mesures de protection (comme la technique de réinjection d'eau dans le sol) ont été prises. Toutefois, jusqu'à présent, il semble y en avoir peu et il est facile de les éliminer ou d'en abaisser le niveau. Bref, l'énergie géothermique est polyvalente, inépuisable à long terme, et relativement propre.

C'est à Banff (Alberta) que l'énergie géothermique a été pour la première fois exploitée commercialement au Canada. Au cours de l'hiver 1883, Frank McCabe et ses compagnons, qui faisaient partie de l'équipe chargée de prolonger le chemin de fer du Canadien Pacifique vers l'ouest, aperçurent ce qui leur semblait être de la fumée montant d'un côté de la vallée. Curieux, ils partirent en reconnaissance et découvrirent un trou dans le sol, d'où montait de la vapeur sentant le soufre. Ayant jeté une branche enflammée dans l'orifice, ils aperçurent une grande caverne circulaire au fond de laquelle il y avait de l'eau qui fumait. Ils coupèrent les branches d'une épinette pour se faire une échelle rudimentaire et descendirent dans le trou où, tout joyeux, ils se jetèrent à l'eau. Peu de temps après, beaucoup de gens venaient jouir des sources d'eau chaude de Banff: on bâtit un hôtel, puis une ville qui devint par la suite le site du premier parc national au Canada.

La suite de l'histoire, pour le Canada du moins, se résume en quelques mots: d'autres sources chaudes des roches volcaniques de l'Ouest ont été utilisées à des fins récréatives; Moose Jaw construisit une piscine chauffée par l'eau pompée des roches sédimentaires jusqu'à ce que le tubage de bois du puits pourrisse et, aujourd'hui, la ville de Whitehorse mélange de l'eau tirée d'une source chaude à l'eau du réservoir municipal pour empêcher les canalisations de geler.

Pourrait-on l'exploiter de façon viable au Canada? Hormis les fins récréatives auxquelles elle sert dans des stations thermales comme Banff, elle n'est pas encore exploitée commercialement ici au Canada. Néanmoins, tout rapport que l'on peut faire sur un domaine jeune et dynamique est vite périmé. Ce n'est qu'en 1970 qu'a eu lieu la première conférence internationale sur l'énergie géothermique et la poignée de spécialistes que l'on a chargés d'inventorier nos ressources géothermiques ne se sont mis à l'œuvre que beaucoup plus tard. Ils ont fait des découvertes encourageantes qui les ont rendus optimistes. L'énergie géothermique, comme nous le verrons dans les pages qui suivent, est susceptible d'apporter une utile contribution aux réserves énergétiques canadiennes.

Les sources chaudes de Banff, découvertes par des travailleurs du chemin de fer en 1883, première exploitation commerciale d'énergie géothermique canadienne.

Perspective planétaire

L'exploitation de l'énergie géothermique a commencé de la même façon partout dans le monde: par l'emploi d'eaux naturellement chaudes pour alimenter des bains. Romains, Grecs, Turcs et Japonais, tous les peuples ont tiré parti des sources chaudes, en quête de santé et de bien-être, convaincus que ces eaux minérales fumantes guériraient tous leurs maux.

La seconde étape importante de l'utilisation de l'énergie géothermique, la conversion de la chaleur terrestre en électricité, a été franchie pour la première fois au début du siècle, en Italie. Il y a à Larderello, près de Pise, des fumerolles ou sources de vapeur, c'est-à-dire des trous dans le sol d'où sort de la vapeur. C'est peut-être d'ailleurs une visite de la région qui suggéra à Dante l'atmosphère enfumée de certaines scènes de *L'Enfer*. En 1904, dans une fabrique où l'on faisait de l'acide borique, un désinfectant, à partir d'eaux minérales chaudes, le prince Piero Ginori Conti alluma cinq ampoules avec de l'électricité produite à l'aide de vapeur géothermique. Au fil des années, la quantité d'électricité produite dans cette centrale a augmenté et permet aujourd'hui d'injecter plus de 400 MW dans le réseau électrique italien.

Il y a un gisement semblable au nord de San Francisco, aux États-Unis. William Elliot chassait le grizzli, un jour du printemps 1847, lorsqu'il tomba sur un cañon d'où émanait une odeur de soufre et dont les falaises laissaient s'échapper des jets de vapeur. Abasourdi, il déclara par la suite à ses amis avoir cru découvrir les portes de l'enfer. En 1960, on entreprit de capter cette vapeur pour produire de l'électricité, et c'est là que se trouve maintenant la centrale géothermique The Geysers qui, avec une production approchant 1 000 MW, est la plus puissante du monde dans cette catégorie.

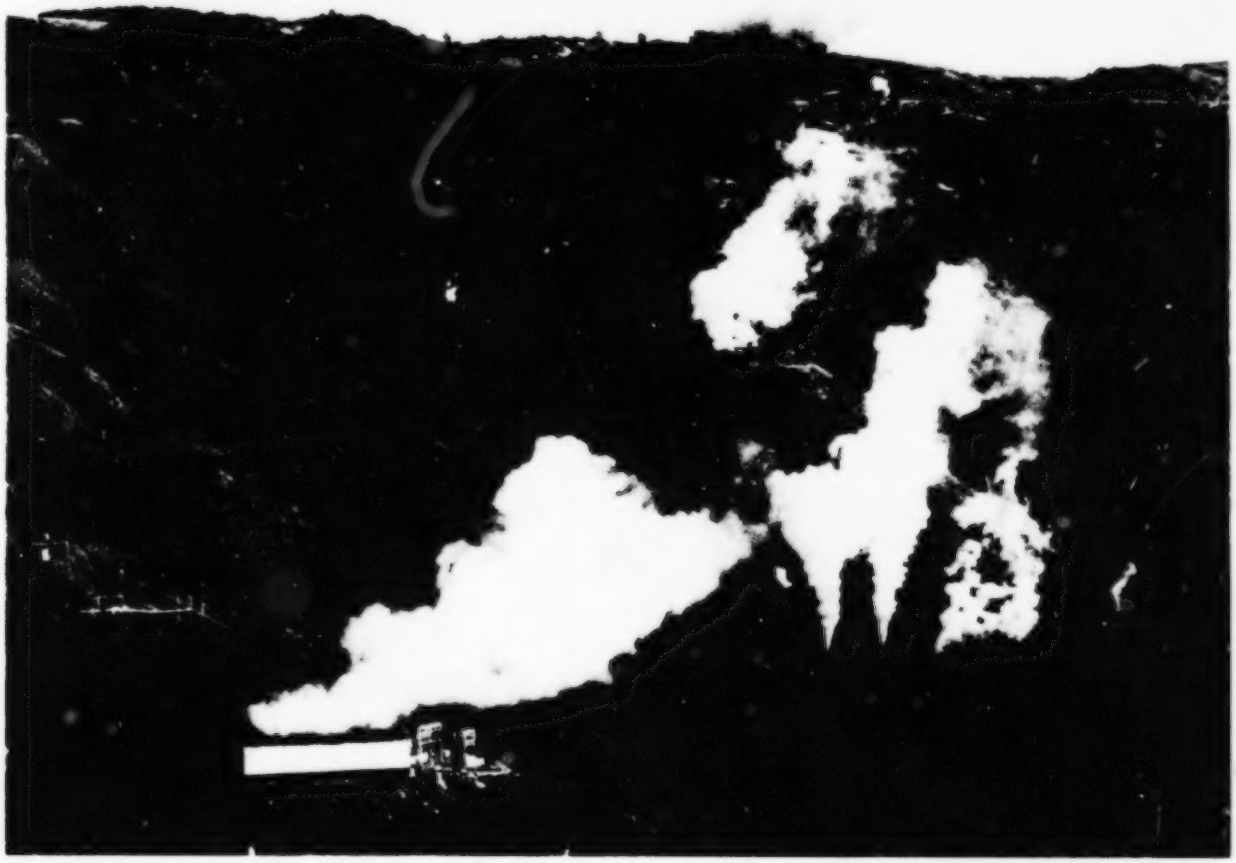
Trois gisements géothermiques ayant une production globale d'environ 350 MW ont été aménagés dans l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande. En outre, la Chine, El Savador, l'Islande, le Japon, le Mexique et divers autres pays ont construit, au cours des deux dernières décennies, des centrales géothermiques de taille relativement petite qui portent la production mondiale actuelle d'électricité de source géothermique aux environs de 3 000 MW. Enfin, de nombreux travaux d'expansion sont en cours ou prévus.

L'Islande fut le premier pays à employer l'eau chaude de la Terre pour le chauffage d'habitations. Plus de 40 puits ont été forés à Reykjavik, la capitale, et dans ses environs depuis 1930. La chaleur tirée de ces puits, véhiculée sous forme d'eau chaude, est canalisée vers la plupart des immeubles de la cité, où elle sert pour le lavage, les bains et le chauffage des locaux. Les habitants de Reykjavik se glorifient d'habiter une ville exempte de fumée, puisqu'on n'y brûle pas de combustible fossile, et s'amusent de la contradiction apparente de son nom, car Reykjavik signifie «baie enfumée». La ville tient de fait son nom de ses sources de vapeur chaude, non de ses feux, et la plupart des collectivités de cette petite île du milieu de l'Atlantique respirent un air pur et frais, car la majorité se chauffent à l'énergie géothermique.

Ce sont des roches volcaniques chaudes qui sont la source de chaleur du sous-sol islandais. Par contre, en France, ce sont des roches sédimentaires qui alimentent en énergie géothermique certains systèmes de chauffage de la capitale. L'eau chaude, source de chaleur, se trouve dans une formation sédimentaire qui a la forme d'une cuvette de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre, connue sous le nom de Bassin parisien. En 1970, on a foré des puits à Melun, en banlieue de Paris, pour amener à la surface cette eau dont la température moyenne est de 80° C. La chaleur extraite au moyen d'un échangeur de chaleur permet de chauffer de gros immeubles d'habitations. Le projet en a inspiré d'autres et, lorsque les plans actuels auront été mis à exécution, 500 000 appartements de France seront chauffés à l'énergie géothermique.

Les Russes cultivent des millions de tonnes de légumes dans des serres qui sont chauffées par l'eau chaude des roches sédimentaires. En Hongrie, une bonne part de la culture du paprika se fait également en serre, grâce à la chaleur extraite des roches sédimentaires. En Islande, la pomme de terre est à peu près la seule plante d'usage domestique qui pousse à l'extérieur; mais on trouve dans les serres chauffées à l'énergie géothermique des bananes aussi bien que des fleurs de toutes sortes.

Il existe bien d'autres moyens d'utiliser la chaleur de la Terre. Les Japonais en ont inventé qui sont particulièrement originaux: ils se servent de l'énergie géothermique pour chauffer des établissements piscicoles, des étangs à anguilles et des éclosoirs pour œufs d'alligators, ainsi que des parterres de lis et des brasseries. Néanmoins, les utilisations les plus importantes, après la période initiale où l'on construisait des bains, demeurent la production d'électricité et le chauffage d'immeubles et de serres.



Des jets de vapeur, provenant de réservoirs souterrains, s'échappent avec un rugissement par les vannes aménagées à cette fin à la centrale The Geysers (Californie). Les turbines (en haut et en bas à gauche) produisent plus de 500 MW, soit suffisamment d'électricité pour une ville d'un demi-million d'habitants.

Cette basse-cour de l'extrême nord de la Russie est chauffée grâce à l'énergie géothermique.

La chaleur terrestre

Quarante kilomètres au nord de Reykjavik, de l'eau surchauffée jaillit d'un escarpement rocheux pour former une rivière bouillonnante. C'est là un autre exemple d'un ensemble de phénomènes observés dans le monde entier et qui se manifestent sous formes de sources chaudes, de chaudrons de boue en ébullition, de geysers intermittents de vapeur et d'eau bouillante, ainsi que de volcans qui ont à maintes et maintes reprises enfoui de grandes surfaces sous une lave incandescente. Il est par conséquent raisonnable de présumer «qu'il y a dans les entrailles encore inexplorées de la Terre — comme l'écrivait, il y a 300 ans, le physicien et chimiste anglais, Robert Boyle — de vastes réserves de feu ou du moins de chaleur intense. . . » De fait, la plupart de nos ancêtres croyaient que c'était là que se trouvait l'enfer, cet océan de feu où les pécheurs étaient bannis à jamais.

Les géophysiciens ont confirmé que la Terre est chaude, d'abord en mesurant la température de sa croûte, puis en trouvant des moyens d'évaluer de nombreuses caractéristiques de la masse profonde et inaccessible du globe.

Si la Terre avait la taille d'une pomme, les mines et les puits les plus profonds que nous y creusons en perceraient à peine la pelure. Des mesures prises dans une épaisseur de 10 km à la surface de cette pelure montre que la température croît régulièrement d'environ 25° C en moyenne par kilomètre de profondeur.

La croûte terrestre, à la surface de laquelle nous vivons, est la plus mince des sphères concentriques qui forment la Terre. Elle est plus mince sous les océans que sous les montagnes et elle n'a que rarement plus de 50 km d'épaisseur. La température de la Terre à la base de cette croûte est d'environ 600° C.

Sous la croûte se trouve le manteau terrestre, de 2 900 m d'épaisseur. Seule la surface externe du manteau est rigide. À peine a-t-on pénétré dans sa partie supérieure, à 100 km sous la surface terrestre, que la température atteint un point où, à la pression normale, la roche fond. Vient ensuite une zone où la température continue de monter, mais moins rapidement que dans la croûte et où la roche, qui n'est ni solide ni liquide, flue comme le verre ou l'asphalte. C'est un genre de soupe épaisse qui mijote et dont les ingrédients se déplacent avec une extrême lenteur du fond du manteau vers la croûte pour retomber en décrivant de gigantesques spires amorphes appelées courants de convection.

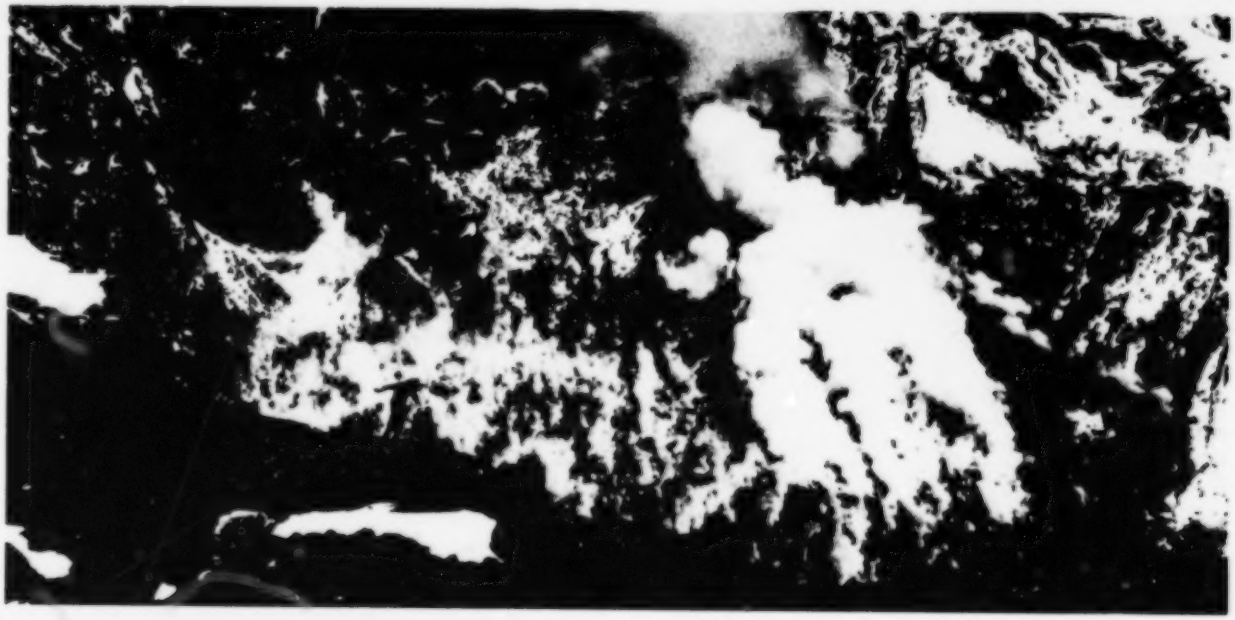
La troisième sphère est le noyau de fer et de nickel, dont la température en bordure du manteau atteint peut-être 3 700° C, et pourrait dépasser 4 000° C en son centre, qui est aussi celui de la Terre. Le noyau externe est en fusion. La graine, par contre, est comprimée avec une telle force qu'elle demeure solide.

Quelle est la source de la chaleur terrestre? D'après les géophysiciens, ce sont des collisions cosmiques et des désagrégations nucléaires qui en sont l'origine.

La Terre et ses voisines, disent-ils, sont nées d'une vaste nuée turbulente de poussières et de gaz chauds résultant d'explosions de supernovæ éloignées. Cette matière s'est fondue en son centre pour former le Soleil, autour duquel les planètes se sont formées par la collision et l'agrégation des particules. Ces collisions produisaient beaucoup de chaleur, de sorte que la Terre était chaude à sa création, il y a près de 5 milliards d'années.

La radioactivité a ensuite fait monter sa température interne. Il y a en effet, encastrés dans les roches terrestres, des «radiateurs» internes puissants, les éléments radioactifs et en particulier les isotopes de potassium, de thorium et d'uranium à longue vie, qui se désintègrent spontanément et convertissent leur énergie nucléaire en chaleur. Lorsque la température terrestre passa le seuil de fusion du fer, d'immenses gouttes de métal fondu tombèrent jusqu'au noyau, libérant de ce fait de l'énergie gravitationnelle sous forme de chaleur additionnelle. Les éléments lourds tombèrent tandis que les éléments légers montèrent; le processus de zonation contribua aussi à la chaleur terrestre. La plupart des éléments radioactifs s'élevèrent vers la croûte de la Terre où ils sont maintenant concentrés dans les granites clairs et constituent la principale source de la chaleur émanant des continents. Il faudra des millions d'années pour qu'une fraction appréciable de ces éléments radioactifs se désintègrent; à l'échelle d'une vie humaine, le flux de chaleur montant de la Terre est inépuisable.

Il est aussi énorme. La quantité d'énergie thermique atteignant la surface de la Terre en une année équivaut à dix fois l'énergie totale utilisée par l'Homme pendant la même période. Toutefois, le processus affecte la totalité de la surface terrestre, de sorte que la quantité moyenne de chaleur dégagée dans une région donnée est faible, représentant de fait environ un dix millième de l'énergie solaire déversée sur la même région. Le flux de chaleur est si diffus qu'il lui faudrait un an pour faire fondre une couche de glace de quelques millimètres d'épaisseur seulement.



Descente le long des flancs englacés d'un cratère volcanique (en Russie), en vue de l'exploration du lac bouillant qui se trouve au fond.

L'existence de roche en fusion à proximité de la surface terrestre ainsi que d'indices de réservoirs géothermiques s'explique par le mouvement des plaques qui composent la couche externe de la Terre. Trois de ces plaques sont représentées ici. Lorsque deux de celles-ci divergent, la roche en fusion sous-jacente surgit pour combler l'espace ainsi créé et lorsqu'elles entrent en collision, il y a mise en fusion de la roche par frottement, et éruption de volcans.

Le flux *moyen* de chaleur à la surface de la Terre est, en d'autres termes, beaucoup trop faible pour que nous puissions l'exploiter. Néanmoins, la chaleur interne actionne des mécanismes géologiques qui remodèlent constamment la planète, soulevant des montagnes, causant des tremblements de terre et créant par la même occasion des *concentrations* d'énergie géothermique qui représentent des sources utiles d'énergie.

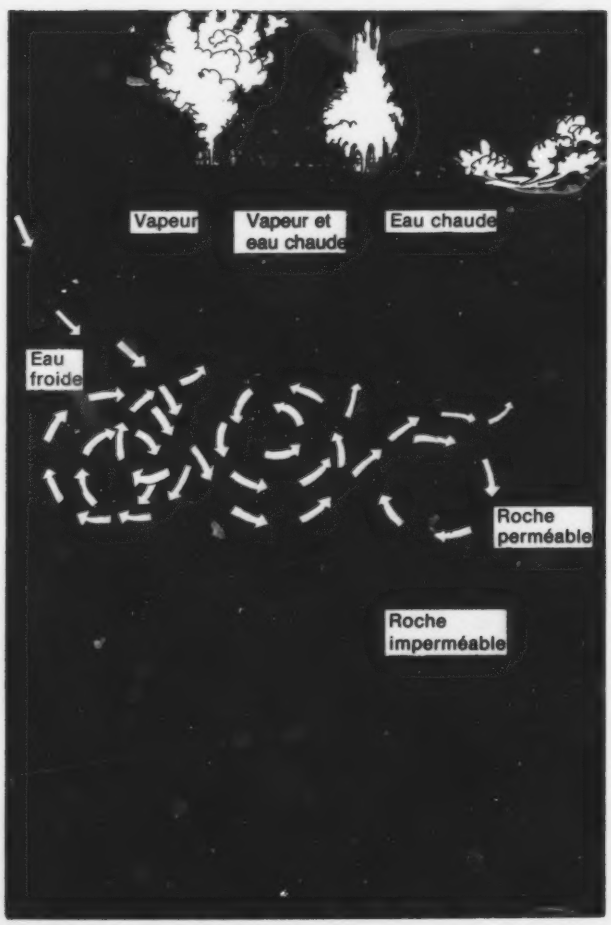
Rien ne semble aussi immobile que le substratum rocheux. Pourtant, il bouge et l'enveloppe extérieure de la Terre (d'une épaisseur de 100 à 150 km, composée de la croûte et de la partie supérieure du manteau) est faite de quelques douzaines d'immenses plaques rigides, qui flottent comme des radeaux et qui sont entraînées par les courants engendrés par la chaleur de cet intérieur plastique dans une série de mouvements saccadés et balourds. Il y a une génération, la nouveauté de telles notions ne manquait pas de susciter l'étonnement. Toutefois, comme elles expliquent tant de choses en si peu de mots, presque tous les géophysiciens et géologues les tiennent maintenant pour partiellement fondées à tout le moins.

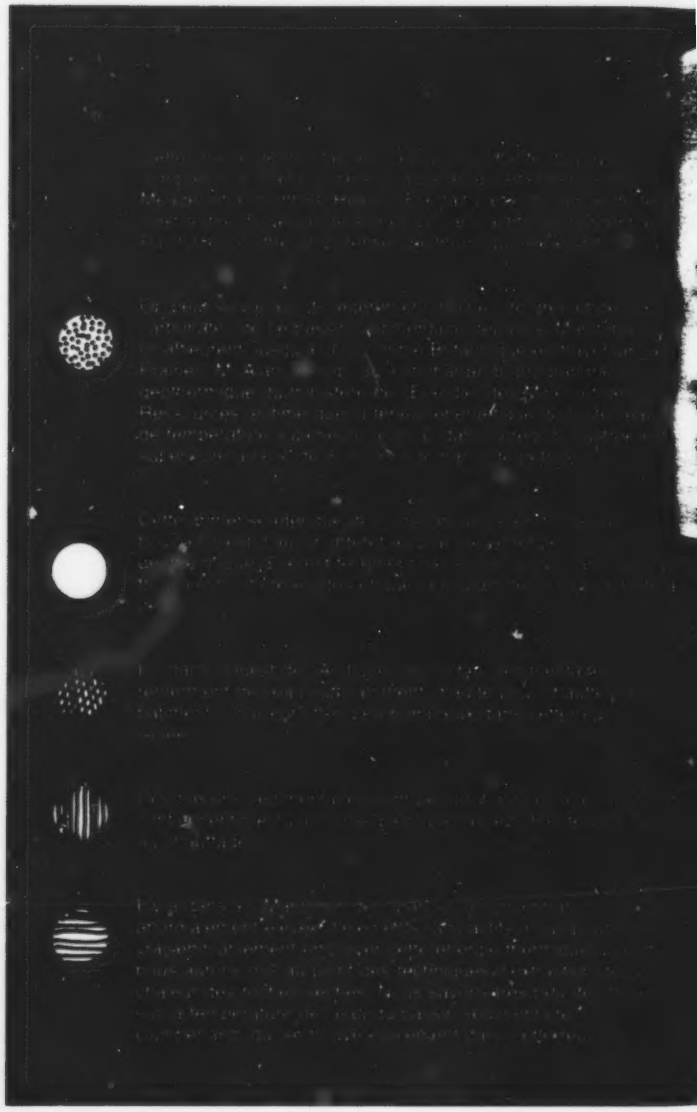
Les plaques se touchent et se repoussent. Une plaque à croûte océanique, par exemple, s'enfonce sous une plaque à croûte continentale. Les secousses et les chocs de sa subduction sont ce que nous appelons des tremblements de terre; les éruptions des roches en fusion, chauffées par son glissement vers le bas, sont des volcans et les replis rocheux, extrudés vers la surface, des montagnes. Deux plaques océaniques s'écartent à une vitesse de quelques centimètres par année; la fissure qui en résulte se remplit sans cesse de magma qui jaillit, c'est-à-dire de la roche en fusion qui se trouve dans le manteau.

Une activité volcanique intense marque les limites des plaques de la Terre et dans ces zones volcaniques étroites se trouve concentré 1% de la totalité du flux thermique terrestre. Les habitants de ces régions risquent donc de subir les conséquences d'éruptions et de tremblements de terre; par contre, ils sont aussi à même de profiter de l'énergie géothermique. Larderello, en Italie, The Geysers, aux États-Unis, les gisements géothermiques de Nouvelle-Zélande sont situés dans de telles zones, comme tous les projets du monde de production d'électricité d'origine géothermique.

Les ressources géothermiques

Il existe probablement pour chaque volcan des centaines de régions où la roche en fusion est montée jusqu'à quelques kilomètres de la surface de la Terre. Il faudra peut-être des millions d'années pour que ces chambres magmatiques souterraines se refroidissent parce que la roche solide qui les entoure est un très mauvais conducteur de la chaleur. De fait, c'est l'eau qui emmagasine la chaleur qu'elles contiennent et transforme un accident géologique en une ressource géothermique. L'utilisation de la chaleur terrestre se fait donc par l'extraction non pas de roche, mais d'eau, et il convient de classifier les différentes ressources géothermiques d'après leur «chaleur» et leur «humidité».





Les réservoirs de vapeur

L'eau qui s'infiltre dans les fissures et les crevasses des roches chauffées à haute température (aux environs de 235° C) peut, si la pression n'est pas trop forte, se transformer en vapeur. Lorsque c'est le cas et que le réservoir souterrain est fermé par un couvercle de roche imperméable, il se constitue pour ainsi dire une marmite à pression. L'eau y est refoulée par la pression de la vapeur, de sorte que, si l'on perce un trou dans le couvercle, il s'échappe une vapeur sèche, sous pression et surchauffée. Cette vapeur sèche convient particulièrement bien à l'entraînement des turbines à vapeur qui, à leur tour, entraînent les

Les réservoirs géothermiques se forment lorsque l'eau de pluie qui s'infiltre dans une couche rocheuse perméable est chauffée par des roches en fusion se trouvant à quelque distance au-dessous du substratum rocheux. L'eau chaude et la vapeur produites s'échappent par des fissures d'une couche rocheuse imperméable et montent vers la surface sous forme de fumerolles (sources de vapeur), de geysers (jets d'eau et de vapeur) et de sources chaudes.

génératrices. Toutefois, ces réservoirs sont rares. Il n'en existe actuellement que quatre d'exploités dans le monde.

Les réservoirs d'eau bouillante

L'eau chauffée à haute température sous terre ne se transforme pas toujours en vapeur si elle est soumise à une pression. Toutefois, si on soumet cette eau surchauffée à la pression de l'air, elle surgit avec un bruit de tonnerre et s'évapore instantanément mais dans une proportion qui est cependant inférieure à 33%. La plus grande partie de cette eau se présente sous forme de liquide en ébullition. Ce type de réservoir est dit à vapeur humide, et c'est celui qui est mis en perce pour alimenter la plupart des centrales géothermiques du monde. (Il est assez intéressant de noter que l'abaissement de la pression d'un réservoir d'eau bouillante en Nouvelle-Zélande en a transformé une partie en un gisement de vapeur sèche.)

Les réservoirs d'eau chaude

Lorsque la température d'un gisement géothermique se situe entre 60° C et 140° C, comme c'est le cas pour l'eau chaude qui se trouve dans le sous-sol de Reykjavik et de ses environs, il est impossible de produire de l'électricité, du moins à l'aide des techniques classiques. On peut par contre l'employer pour le chauffage résidentiel, un peu comme on se sert d'une casserole pour réchauffer de l'eau plutôt que pour la faire bouillir.

Les roches chaudes sèches

On retrouve assez souvent des concentrations de chaleur situées près de la surface de la Terre ailleurs que dans les régions volcaniques. Dans les autres régions, elles sont dues, entre autres, à un niveau local élevé de radioactivité. Toutefois, si les roches chauffées sont sèches — soit parce qu'elles sont solides et ne contiennent pas d'eau, soit parce qu'il n'y a aucune

nappe aquifère souterraine — elles ne nous sont pas plus utiles qu'une bouilloire chaude mais vide. Pour extraire la chaleur de ces roches, il faut y injecter de l'eau et les techniques complexes qui sont nécessaires pour y parvenir ne sont pas encore tout à fait au point.

Les réservoirs sédimentaires

Dans les zones volcaniques, les flux de chaleur sont habituellement concentrés; dans les bassins sédimentaires, la chaleur de flux diffus est souvent accumulée et emmagasinée sous forme d'eau chaude, et les ressources géothermiques ainsi créées sont tout à fait différentes.

Le sable et les débris qui se déposent au fond des mers forment du grès et d'autres roches sédimentaires. Ces dépôts s'accumulent, couche après couche, et peuvent former des bassins rocheux qui s'étendent sur des centaines de kilomètres, lorsqu'ils ne sont pas perturbés. Les espaces libres entre les grains comptent pour un cinquième du volume du grès et permettent l'infiltration de l'eau. L'eau contenu dans un bassin de grès ou d'autres roches sédimentaires semblables est tiédie par le flux de chaleur qui monte du centre de la Terre. C'est ainsi, par exemple, que la température moyenne à 3 km de profondeur est de 75° C. Si la couche aquifère se trouve à cette profondeur et qu'elle est isolée par une couche de roche imperméable, elle accumulera graduellement de la chaleur jusqu'à ce que l'eau qu'elle renferme atteigne cette température. Notons que les réservoirs thermiques sédimentaires se renouvellent plus lentement que les réservoirs de vapeur ou d'eau chaude, car ils sont alimentés par la chaleur moyenne diffuse qui provient de l'intérieur de la Terre.

En France, en Hongrie, en Union soviétique et dans d'autres pays, l'eau chaude des roches sédimentaires sert à chauffer des immeubles et des serres. Ce genre de ressource géothermique se retrouve sous une bonne partie des régions habitables.

Exploration

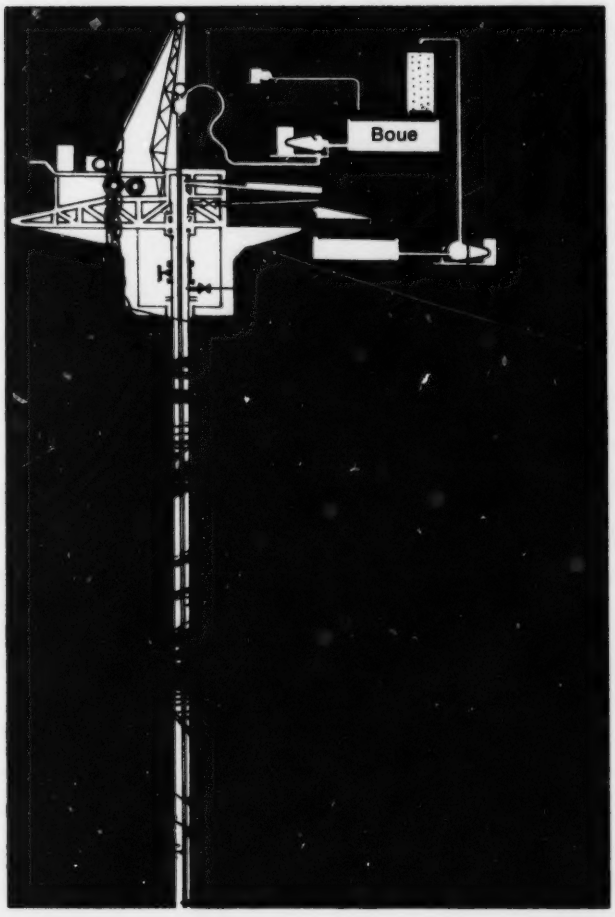
Pour extraire l'énergie d'un réservoir géothermique, il faut d'abord en découvrir un.

Les bassins sédimentaires sont vastes et habituellement bien connus étant donné les travaux d'exploration relatifs au gaz naturel et au pétrole. On cherche les réservoirs d'eau tiède de ces bassins en étudiant d'abord les cartes géologiques et les données des forages antérieurs. Toutefois, pour obtenir les renseignements précis dont ont besoin les ingénieurs qui dessinent les systèmes de chauffage géothermique, c'est-à-dire pour mesurer la température, la pression, la salinité et d'autres caractéristiques du réservoir, il faut creuser de nouveau.

Il est plus difficile de trouver des réservoirs de vapeur et d'eau chaude dans les zones volcaniques, qui sont géologiquement complexes. Les gisements de vapeur sèche, comme ceux de Larderello et The Geysers, sont faciles à repérer étant donné leurs spectaculaires fumerolles, geysers et sources chaudes. Cependant, il est maintenant aussi rare de découvrir une source d'énergie géothermique aussi évidente que de tomber sur un nouveau champ pétrolifère repéré grâce aux indices de pétrole visibles en surface.

La recherche systématique de vapeur géothermique commence habituellement par une étude des sources chaudes. Celles-ci sont si nombreuses dans les régions volcaniques que leur simple existence n'est pas un bon indice de ce qui se cache dans le sous-sol. Par contre, l'analyse des minéraux dissous dans leurs eaux comme, par exemple, la détermination de leur teneur en sodium par rapport à celle de potassium, donne aux géochimistes une indication de la température des roches souterraines dont proviennent ces minéraux. Les géophysiciens envoient des ondes de choc et des courants électriques dans la Terre pour sonder la structure des roches et des fluides. Se guidant sur des facteurs comme la porosité des roches, une roche gorgée d'eau offrant moins de résistance au passage du courant qu'une roche solide, ils peuvent analyser leurs observations pour en tirer des indices utiles. Toutefois, les techniques d'exploration en surface ne peuvent fournir que cela: des indices. Il faut forer pour obtenir des faits.

Forer le sol pour trouver une source de chaleur est au moins aussi compliqué, coûteux et risqué que pour trouver des minéraux. Les appareils de forage pétrolier servent également pour les projets d'exploration géothermique, et les équipes de forage font à peu près le même travail lorsqu'elles cherchent de la vapeur ou



Des manoeuvres d'une équipe de forage géothermique ajoutent une autre section à la garniture de forage. À l'arrière-plan, on voit le schéma de l'appareil type de forage par rotation.

de l'eau chaude que lorsqu'elles cherchent du pétrole. Il leur faut accrocher une section de tige de forage, suspendue au derrick, aux sections qui ont déjà pénétré dans le sol et lancer un puissant moteur diesel. Celui-ci entraîne le train de tiges pendant qu'au fond du trou un trépan attaque la roche et s'y fraie un chemin.

La vitesse d'avancement des travaux dépend de la composition de la roche. La roche volcanique est souvent beaucoup plus dure que la roche sédimentaire qui renferme du pétrole ou l'eau chaude employée pour le chauffage géothermique. Le forage d'un trou d'un kilomètre dans la roche volcanique peut prendre jusqu'à 45 jours, et il faut compter 10 jours de plus pour tester le puits et le revêtir d'un tubage d'acier. Plus on s'enfonce, plus les résultats sont fiables, mais plus aussi les coûts montent, et c'est pourquoi il n'est pas rentable de forer un puits de beaucoup plus de 2 km de profondeur à l'aide des techniques employées aujourd'hui.

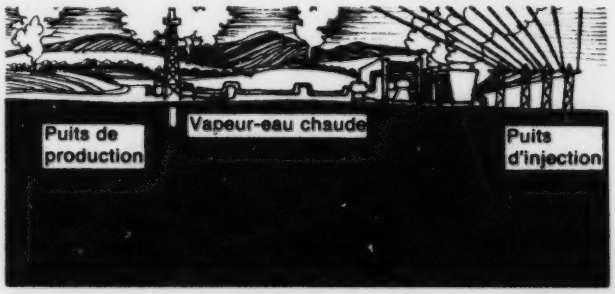
Par ailleurs, la chaleur qui est la raison même du forage dans la roche volcanique rend l'opération lente et délicate. Il faut injecter de l'eau ou de la boue dans le trou pour refroidir le trépan et écarter les fragments de roche. En outre, lorsque le trépan se rapproche d'une nappe, il faut prendre garde, car le fluide peut monter en une giclée soudaine. De même, il faut protéger l'équipe de toute éruption d'eau surchauffée ou de vapeur qui peut se produire si le trépan perce soudainement un réservoir à haute pression et, pour ce faire, il faut prévoir un gigantesque piston-plongeur qui interviendra automatiquement pour bloquer la masse-tige et obstruer le trou.

Production d'électricité

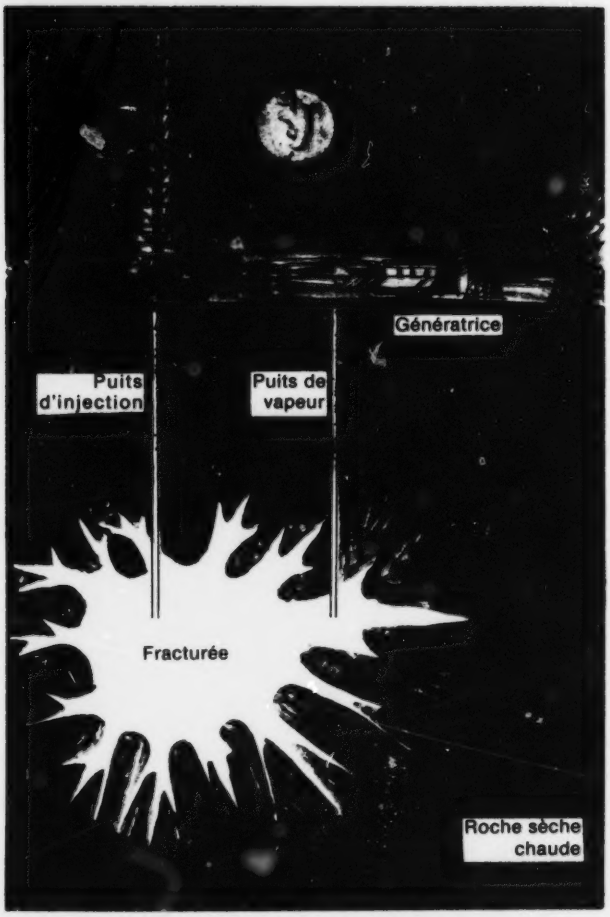
Une fois le réservoir localisé, les géologues et les ingénieurs doivent en dresser une carte détaillée, afin de décider si son exploitation est justifiée compte tenu de facteurs tels que la taille, la pression et la température. Dans l'affirmative, il faut ensuite forer des puits de production, qui sont reliés par un réseau de canalisations à des turbo-alternateurs. Enfin, on ouvre les vannes et on lance les machines.

Le rôle de la majeure partie du matériel visible dans une centrale géothermique est facile à comprendre. Il y a à la tête de puits des silencieux (car la décharge de vapeur peut causer une déflagration assourdissante) et des séparateurs qui extraient la vapeur de l'eau chaude. Il y a aussi beaucoup de canalisations renforcées qui recueillent la vapeur du groupe de puits, pour l'acheminer vers une canalisation principale. On voit également un bâtiment où sont logées les turbines et les génératrices. Les aubes des turbines sont mises en action par la détente de la vapeur et les génératrices convertissent en électricité l'énergie produite par la rotation des arbres des turbines. On trouve également dans chaque installation des tours de refroidissement de forme caractéristique, qui permettent de libérer la vapeur utilisée dans l'atmosphère, et parfois des puits de réinjection grâce auxquels les eaux résiduelles sont évacuées dans le sol.

Le seul problème technique réel particulier aux centrales géothermiques tient à la composition des



La vapeur d'un réservoir souterrain est acheminée du puits de production vers une centrale où elle actionne des turbines et produit ainsi de l'électricité. Les eaux résiduelles chaudes sont retournées dans le sol.



On peut extraire l'énorme quantité d'énergie contenue dans les roches sèches chaudes qui se trouvent près de la surface de la Terre en envoyant de l'eau sous pression par un puits d'injection pour fracturer les roches et, en extrayant la vapeur ou l'eau chauffée de la zone fracturée, pour actionner une génératrice. Les techniques expérimentales employées aujourd'hui sont coûteuses et ne sont pas encore rentables.

saumures chaudes. Plus l'eau souterraine est chaude, plus elle peut dissoudre les sels que contiennent les roches dans lesquelles elle s'infiltre. Lorsqu'elle se refroidit à la surface du sol, ces sels précipitent en dépôts épais et encrassent les sondages, les canalisations et les aubes des turbines. Les saumures sont en outre corrosives, de sorte que pour la fabrication des canalisations d'une centrale géothermique on doit utiliser des métaux de grande qualité et très résistants à la corrosion.

Fait intéressant, l'encrassement causé par les saumures peut amener tout aussi bien la formation que l'élimination d'un réservoir géothermique. Lorsque les minéraux dissous dans les profondeurs de la Terre précipitent soudainement en dépôts et bloquent les pores des roches plus froides près de la surface de la Terre, ils peuvent isoler le bassin qui se trouve au-dessous et le transformer ainsi en marmite à pression souterraine. Par ailleurs, après une quinzaine d'années, ce processus peut aussi mener à l'obstruction des voies d'arrivée de l'eau chaude au fond du puits de production. Pour continuer d'exploiter le réservoir, il faut alors remplacer le puits obstrué.

La centrale géothermique produit l'énergie nécessaire à la charge de base. La quantité d'énergie demandée au réseau électrique varie: elle atteint habituellement un maximum durant les soirées sombres et froides d'hiver, quand presque tout le monde utilise des appareils électriques. Or la production d'une centrale géothermique ne peut pas s'adapter à de telles fluctuations de la demande; elle est constante et apporte sa quote-part pour couvrir le besoin correspondant à la charge minimale du réseau.

La centrale géothermique convertit la chaleur en électricité tout comme le fait une centrale chauffée au charbon ou une centrale nucléaire. Toutefois, la vapeur extraite des chaudières terrestres est de température et de pression moindres que celles qui proviennent des autres centrales thermiques, et la production d'électricité à partir d'énergie géothermique est donc de rendement plutôt faible. Environ 35% de l'énergie thermique des centrales nucléaires et des centrales fonctionnant au pétrole se transforment en énergie électrique utile; par contre, seulement 10% environ de la chaleur thermique extraite du sous-sol se transforme en électricité. Le rendement est même plus faible dans le cas des gisements de vapeur humide, où une bonne partie de la chaleur thermique se présente sous la forme d'eau chaude et est gaspiliée parce que les techniques classiques ne permettent pas de la convertir en électricité.

Perspectives d'avenir

À l'heure actuelle l'exploitation des ressources géothermiques se fait au moyen de techniques classiques, empruntées à d'autres domaines, c'est-à-dire au forage de puits de pétrole, à la canalisation de la vapeur et à la production d'électricité, et modifiées selon les besoins. Comment se fera-t-elle à l'avenir?...

L'amélioration des techniques d'extraction de la chaleur, par l'emploi de fluides qui bouillent à des températures inférieures à la température d'ébullition de l'eau comme le fréon, par exemple, permettrait de produire de l'électricité au moyen d'eaux chaudes actuellement gaspillées. Mieux encore, l'amélioration des techniques de forage nous donnerait accès à un grand nombre de sources d'énergie supplémentaires.

Ainsi, aux laboratoires scientifiques de Los Alamos, au Nouveau-Mexique, des chercheurs expérimentent des techniques d'extraction de l'énergie des roches chaudes sèches. Ils fissurent les roches en envoyant de l'eau à haute pression au fond de sondages profonds, puis font circuler l'eau dans les fissures qu'ils ont provoquées au fond d'un trou de forage avoisinant, par lequel l'eau monte pour entraîner une génératrice de 5 MW. Si cela fonctionne bien, nous pourrions avoir accès à des ressources énergétiques très répandues. La technique ne sera toutefois pas

L'eau chaude produite par le flux constant de la chaleur qui monte du centre de la Terre s'accumule dans des couches de roches sédimentaires. On peut la pomper jusqu'à la surface, la faire passer dans un échangeur de chaleur et la réinjecter ensuite dans le sous-sol. La chaleur recueillie, étant donné sa température qui varie de 60° C à 90° C, est idéale pour chauffer les appartements, les piscines, les serres et l'eau sanitaire des maisons, ainsi que pour certains procédés industriels.

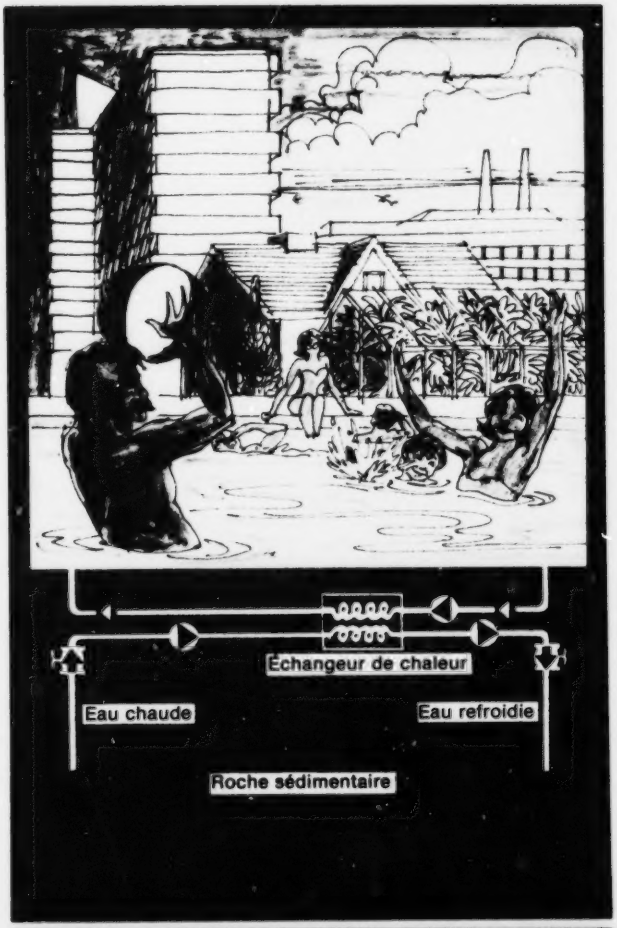
parfaitement au point avant le début du siècle prochain au plus tôt.

Chauffage

Les techniques d'extraction de la chaleur utile des bassins sédimentaires sont simples et efficaces. Il faut dire que ces bassins sont faciles à repérer parce qu'ils sont étendus, de forme géologique régulière et bien connus. Leur exploitation comporte les étapes suivantes: forage d'un puits de production pour pomper l'eau chaude, passage de l'eau pompée dans un échangeur de chaleur, le cas échéant, valorisation de l'énergie qu'elle contient à l'aide d'une pompe à chaleur et pompage de l'eau refroidie dans un second puits pour la réinjecter dans les couches aquifères. La distribution de l'énergie recueillie par l'échangeur de chaleur, que ce soit dans des appartements, dans des bureaux ou dans des serres, ou encore son emploi à des fins industrielles — comme le séchage de denrées, par exemple — se fait également selon des techniques classiques.

En banlieue de Paris, où l'on emploie ce mode de chauffage, on a foré des puits par paires partageant le même sommet, à la manière d'un accent circonflexe, de sorte que, pompes et échangeurs de chaleur y compris, ils n'occupent pas plus d'espace qu'un court de tennis. Chaque groupe de puits ainsi jumelés produit suffisamment de chaleur pour alimenter 1 700 appartements en tout temps sauf durant les journées les plus froides où les habitants doivent alors employer des radiateurs électriques d'appoint. Au Canada, où le climat est plus froid, une telle installation pompant de l'eau à 70° C d'un aquifère situé à 1 750 m de profondeur — ce qui n'est pas rare dans les Prairies — pourrait permettre de chauffer 1 000 appartements ou 250 maisons. Puisque l'eau des bassins sédimentaires est tiède, elle est habituellement facile à manipuler. Elle peut être très salée, mais elle n'est pas très corrosive et, puisqu'elle ne s'évapore pas, on n'a pas besoin d'employer les appareils de sécurité qui sont requis dans le cas de la vapeur à haute pression.

Ce mode d'utilisation de la chaleur terrestre est pratique car les gisements d'eau à température relativement faible (moins de 100° C) conviennent bien à des usages comme le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire. Le recours à des sources d'énergie de haute qualité comme le pétrole ou le gaz à ces fins est peut-être commode, mais il représente un gaspillage. Nous devrions garder le pétrole pour alimenter nos véhicules plutôt que de le brûler pour chauffer nos maisons, partout où il est possible d'employer la chaleur terrestre à cette fin.



Rendement

Le coût

Environnement

Le captage de l'énergie contenue dans les saumures chaudes du sous-sol peut s'accompagner de la libération de gaz et de sels dissous: gaz carbonique, hydrogène sulfuré, composés de chlore, soufre, mercure, arsenic et autres substances toxiques. Prenons par exemple l'hydrogène sulfuré. Son odeur, évocatrice d'œufs pourris, est caractéristique des sources chaudes naturelles. Quelques personnes sont mortes après avoir inhalé de l'hydrogène sulfuré de fumerolles, car ce gaz peut être mortel s'il est très concentré. La libération dans l'atmosphère de gaz toxiques de cette nature peut être toutefois totalement éliminée et en tout cas considérablement réduite sans difficulté technique particulière.

Outre l'atmosphère, les centrales géothermiques peuvent également polluer l'eau. Dans la plupart des gisements en exploitation, il faut rejeter par minute des dizaines de milliers de litres de fluides (de composition chimique très variée certains renfermant des substances toxiques) salés et chauds sortant à grand débit et contenant des substances toxiques. Le meilleur moyen, moins polluant, d'évacuer les eaux résiduelles consiste à les réinjecter dans les roches d'où elles ont été tirées.

L'agent de pollution qui cause le plus de problèmes est sans doute la chaleur. Quand on compare l'impact sur l'environnement de deux centrales de production équivalente, l'une alimentée en combustibles fossiles et l'autre en vapeur géothermique, on constate que la centrale alimentée en combustibles fossiles produit plus d'agents de pollution atmosphérique, tandis que la centrale géothermique dégage beaucoup plus de chaleur. Or celle-ci peut entraîner des changements climatiques locaux qui nuiront à la vie des animaux et des plantes. Toutefois, c'est un problème qui peut être facilement résolu par l'évacuation des eaux résiduelles chaudes dans un puits d'injection. Le forage de tels puits, outre qu'il limite la pollution causée par la chaleur et les produits chimiques, empêche également les glissements de terrain consécutifs à l'enlèvement de grandes quantités d'eau d'un réservoir souterrain.

Demeurer près d'une centrale géothermique donne parfois l'impression d'habiter près d'une chute tumultueuse car lorsque la vapeur s'échappe librement dans l'atmosphère, comme cela peut se produire au cours des travaux d'entretien, elle fait un bruit tout à fait assourdissant. Toutefois, très peu de gens ont une centrale thermique dans leur voisinage.

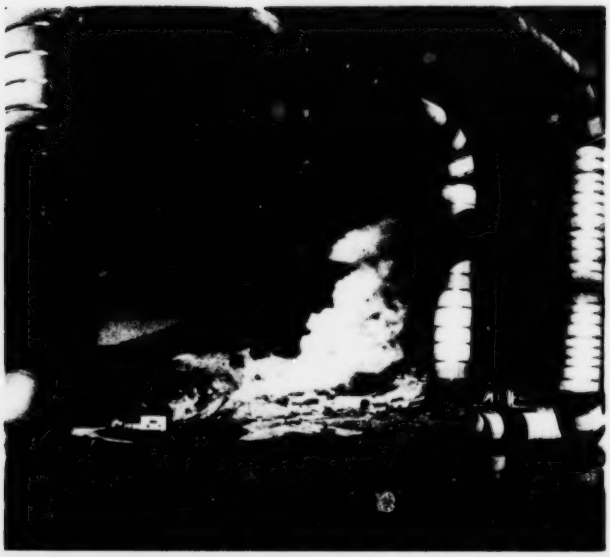
Les champs géothermiques se trouvent habituellement dans des régions isolées qui sont souvent d'une grande beauté: les sources chaudes du mont Meager, pour prendre un exemple au Canada, sont situées au centre de montagnes boisées et sauvages. L'installation et l'exploitation d'une centrale géothermique à cet endroit, étant donné le matériel lourd, les voies de service et les puits qu'elle suppose, transformera un site enchanteur, jadis inaccessible, en complexe industriel. Peu importe le soin qu'on y mettra, le paysage s'en trouvera inéluctablement déparé. (Notons cependant que les bûcherons qui ont abattu des arbres dans la région ont déjà gâté le paysage en dénudant la région et en jonchant le sol de déchets de bois.)

Bref, le coût de l'énergie géothermique au plan de l'environnement est assez faible comparativement à celui d'autres ressources énergétiques, comme le charbon qui est exploité à l'excavateur, l'hydro-électricité, qui suppose l'inondation de vastes territoires, et l'énergie nucléaire, qui s'accompagne de déchets radioactifs qu'il faut stocker.

Économie

L'énergie géothermique n'est jamais gratuite mais, à certains endroits, elle peut être moins coûteuse que d'autres formes d'énergie.

Le coût de l'énergie change à mesure que nous en apprenons davantage sur nos ressources, que nous inventons de nouvelles techniques et que les gouvernements et les peuples agissent. Comme il n'existe pas deux réservoirs géothermiques identiques et qu'on en a exploité très peu jusqu'à présent, il est particulièrement difficile d'établir le prix de l'énergie géothermique. Il est néanmoins certain que les sources intarissables comme la chaleur terrestre deviendront de plus en plus attrayantes, à mesure que les autres sources d'énergie non renouvelables et le pétrole s'épuiseront et deviendront plus coûteuses.



À droite:
Route passant sous les canalisations de vapeur isolées de la centrale géothermique The Geysers, *la plus puissante du monde.*

À gauche:
En Nouvelle-Zélande on se sert de silencieux doubles du genre illustré ici pour assourdir le bruit incroyable de la vapeur qui s'échappe d'un gisement géothermique. (À l'avant-plan on aperçoit un séparateur).

Chauffage à l'énergie géothermique

La majeure partie du coût d'exploitation d'un réservoir géothermique tient à l'exploration et au forage, et ce sont là des frais qu'il faut supporter avant même de savoir qu'on peut produire de l'énergie. Le forage n'est pas une entreprise bon marché. Il en coûte en moyenne plus de un million de dollars pour creuser deux puits dans un bassin sédimentaire. Par contre, proportionnellement, le coût d'installation et d'entretien d'un système de chauffage qui distribue l'eau chaude extraite des puits est faible.

Évidemment, il serait insensé de chauffer une seule maison à l'énergie géothermique. La charge thermique minimale nécessaire pour justifier les immobilisations requises est un groupe de maisons, un immeuble d'habitation, un immeuble administratif ou une école. La charge thermique doit en outre se trouver à proximité de la source de chaleur car si elle est éloignée de plus de dix kilomètres le coût d'isolation thermique des canalisations qui transportent l'eau tiède sera, dans la plupart des endroits, si élevé qu'il rendra le projet beaucoup trop onéreux.

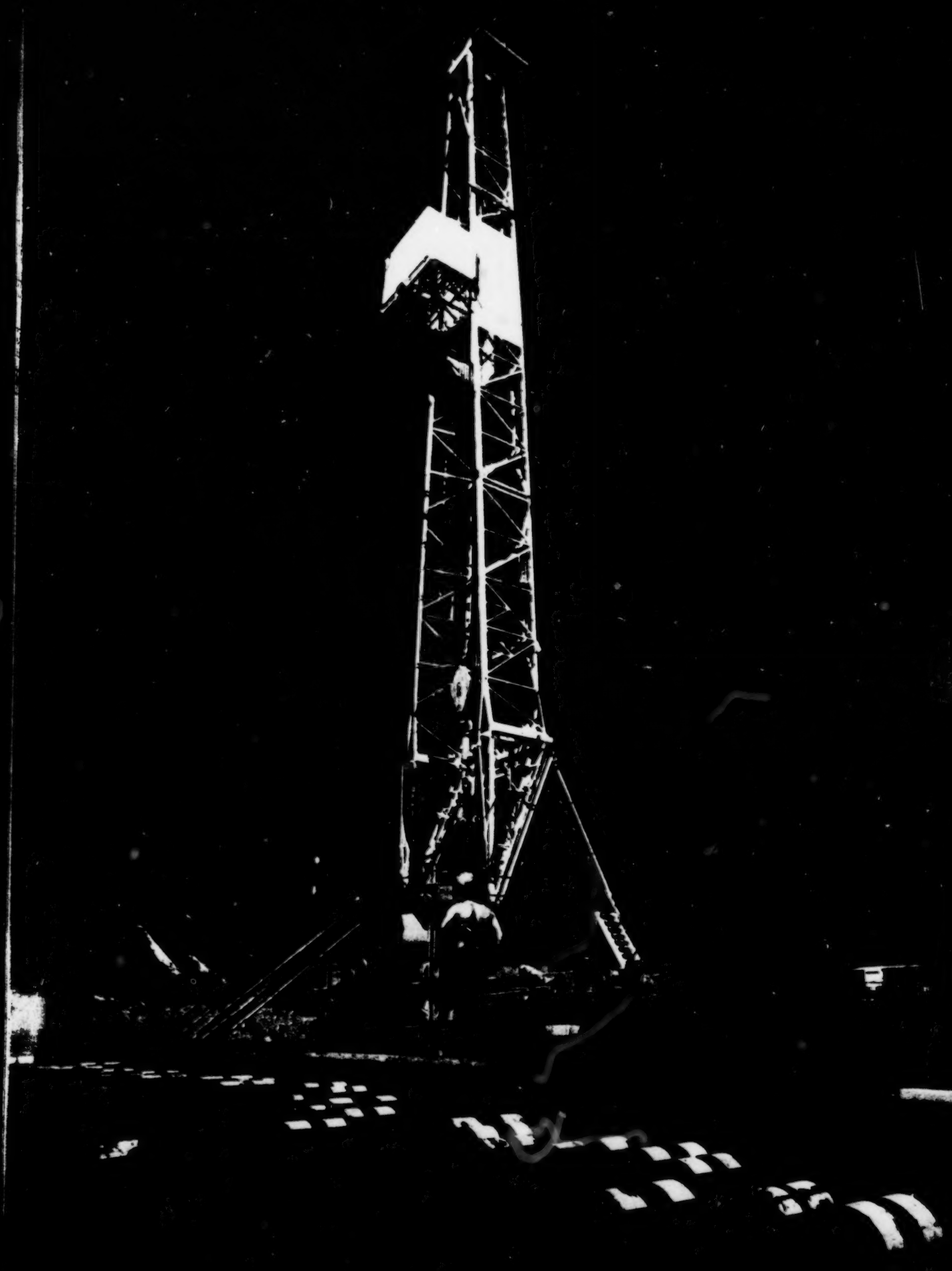
L'eau servant au chauffage géothermique doit normalement être au moins à 50° C, mais ce n'est pas toujours le cas. Whitehorse, par exemple, emploie de l'eau à 7° C seulement pour empêcher ses approvisionnements d'eau de geler. Nulle part ailleurs dans le monde utilise-t-on de l'énergie géothermique dont la température est aussi basse. Pourtant, cette source d'énergie géothermique évite à la ville de devoir brûler du pétrole.

Des autorités hongroises, françaises et italiennes affirment, dans divers rapports sur les aspects économiques du chauffage géothermique publiés au cours des années 70, que cette forme d'énergie coûte environ 20% de moins que les autres formes comme le pétrole et le charbon. L'Islande, qui doit importer tous ses combustibles, estime que le chauffage géothermique est au moins moitié moins cher que les autres modes. C'est un procédé qui n'est pas encore économique au Canada. Le gaz naturel chauffe des maisons des Prairies pour beaucoup moins qu'il n'en coûterait pour pomper de l'eau chaude des bassins sédimentaires. Toutefois, si les Canadiens devaient acheter le gaz naturel au prix mondial, plutôt qu'au taux intérieur subventionné, le chauffage géothermique serait plus concurrentiel.

Électricité d'origine géothermique

Le forage de roches volcaniques est beaucoup plus coûteux que celui de roches sédimentaires tendres. De plus, il faut procéder à beaucoup de travaux de forage pour dresser la carte d'un réservoir de vapeur ou d'eau chaude. De même, le coût des canalisations, des turbines, des génératrices et de tout le matériel nécessaires dans une centrale n'est aucunement négligeable comparativement au coût du forage. Cependant, malgré les lourdes immobilisations requises, ces réservoirs exceptionnels contiennent tellement de chaleur que la conversion de cette dernière en électricité demeure rentable. C'est certainement le cas pour The Geysers, où le coût unitaire de l'électricité transmise au réseau du nord de la Californie équivaut à environ la moitié de celui de l'électricité produite dans une centrale alimentée au charbon et aux deux tiers de celui de l'électricité produite dans une centrale nucléaire.

La rentabilité économique de l'exploitation d'une ressource géothermique pour produire de l'électricité est assortie de conditions rigoureuses. La source d'énergie doit se trouver assez près d'un important marché d'électricité. Elle doit contenir, en grande quantité, de l'eau surchauffée à une température minimale de 180° C ou de la vapeur. En règle générale, les frais de forage, l'acquisition du matériel nécessaire et les dépenses de fonctionnement sont tels que la centrale doit produire au moins 100 MW pour que le coût unitaire de l'électricité soit concurrentiel. Toutefois, en comparaison de la taille minimale que doit avoir une centrale nucléaire ou hydro-électrique pour être rentable, c'est peu. De fait, l'énergie géothermique a l'avantage qu'on peut profiter d'économies de masse, sans nécessairement exploiter une grosse centrale. On peut construire des centrales assez petites et, par conséquent, relativement peu coûteuses et y ajouter graduellement des modules de production limitée, à mesure qu'on en apprend davantage sur le gisement géothermique.



Les projets canadiens

À qui doivent appartenir les ressources géothermiques? Peut-on assujettir un réservoir souterrain à une concession, comme on le fait pour les mines, ou doit-on le négocier comme si c'était un terrain? À l'heure actuelle au Canada, nous n'avons pas de réponse satisfaisante à ces questions car, au plan juridique du moins, l'énergie géothermique est à peine reconnue.

Ce n'est pas surprenant: comme cette ressource n'a pas encore été exploitée, les problèmes ne se sont pas encore posés. Toutefois, la Colombie-Britannique, qui sera peut-être la première province à capter l'énergie géothermique, a dressé des règlements explicites pour son exploitation.

Le Canada est un nouveau venu dans le domaine de l'énergie géothermique: ce n'est pas avant le début des années 70 que nous avons commencé à chercher des sources d'énergie géothermique. Le gouvernement fédéral a d'ailleurs joué un rôle important à cet égard. Le Conseil national de recherches doit en effet, dans le cadre du programme canadien de recherche et de développement énergétiques, coordonner les travaux relatifs aux énergies renouvelables. Quant à l'énergie géothermique, ses responsabilités sont strictement administratives. Le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, par l'entremise en particulier de la Direction de la physique du globe et de la Commission géologique du Canada, dresse et exécute le programme d'exploration et de mise en valeur de l'énergie géothermique. Au moment de la rédaction du présent document, en 1982, les dépenses fédérales annuelles au titre de l'énergie géothermique se chiffraient à 750 000 $.

Les chercheurs dans le domaine de l'énergie géothermique ont traversé, à pied, en voiture et en avion une bonne partie des nombreuses structures géologiques du Canada. Partant des roches volcaniques de l'Ouest, où ils ont d'abord étudié des centaines de sources chaudes, ils ont graduellement poussé vers l'est, examinant le bassin sédimentaire des Prairies et les granites des Maritimes. Ils ont examiné des masses de données, en concentrant progressivement leurs recherches sur les sites les plus prometteurs et, jusqu'à maintenant, ils ont repéré deux gisements géothermiques dont nous pourrions bientôt tirer de l'énergie: le mont Meager, en Colombie-Britannique, pour la production d'électricité à l'aide d'énergie géothermique, et l'Université de Regina, dans la Saskatchewan, pour le chauffage à l'énergie géothermique.

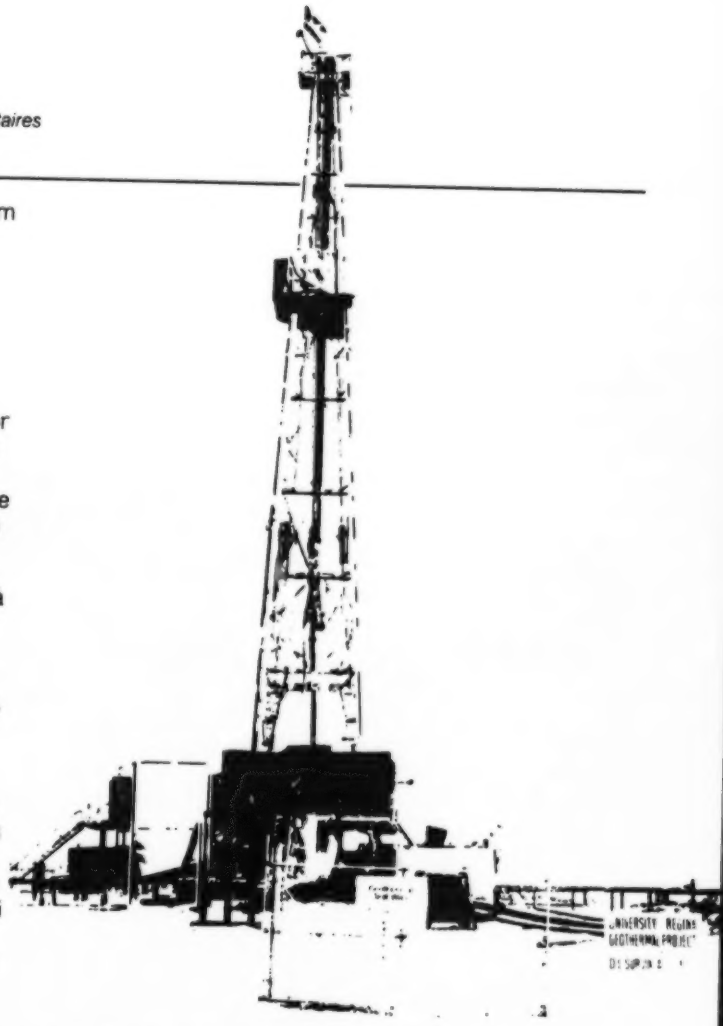
Forage d'un puits de production au pied du mont Meager.

Le mont Meager

Un volcan en repos, dont les sources chaudes attestent la présence de chaleur souterraine, et un site rapproché du marché énergétique important que représente Vancouver sont de bon augure pour l'exploitation d'énergie géothermique. Après avoir choisi le mont Meager, les chercheurs du gouvernement fédéral se sont joints au service public d'électricité de la province, B.C. Hydro, et à quelques firmes d'experts-conseils pour faire une étude détaillée du site. Comprendre la géologie du mont Meager n'a pas été chose facile: la cheminée d'où provenaient les éruptions s'est déplacée de quelque 10 km au cours de la période d'extrême activité du volcan, de sorte que les géologues se retrouvent devant un amas de roches fragmentées et enfouies. Grâce à des levés sismiques et électriques, ils ont toutefois localisé deux endroits — l'un au nord du complexe montagneux, l'autre au sud — sous lesquels nous pourrions très vraisemblablement trouver des poches de vapeur.

Pour que les géophysiciens puissent prendre des mesures et les indiquer sur leurs cartes, il faut d'abord qu'une équipe ouvre des couloirs rectilignes dans les broussailles. En 1974, quatre hommes faisaient ce travail au pied du mont Meager. Ils devaient, lorsqu'ils auraient terminé, dresser leur camp sur un banc de sable d'une rivière, où un hélicoptère viendrait les prendre. Lorsque l'hélicoptère vint au rendez-vous, le pilote ne put trouver trace ni de l'équipe ni du point de rendez-vous. Les vallées que surplombe le mont Meager sont remplies de gravier et de sédiments qui proviennent de l'érosion de la montagne, dont la roche est friable. Le pilote releva seulement les signes d'un récent glissement boueux sous lequel se trouvaient enfouis l'équipe disparue, leur camp et le banc de sable.

En 1980, une équipe de forage de la B.C. Hydro, qui achevait le travail possible avec un appareil de forage léger, enregistra une température de 202° C dans un trou de 367 m de profondeur au sud du mont Meager. Les carottes rocheuses extraites du sol portaient les signes d'une altération chimique due à l'eau chaude. Les géologues en déduisent que le trépan était sur le point de percer la voûte rocheuse d'un réservoir souterrain d'eau surchauffée ou, peut-être même, de vapeur. Ils décidèrent de ne pas pousser davantage et de revenir au cours de l'été 1981 avec un appareil plus lourd, capable de bloquer les éruptions de vapeur ou d'eau bouillante.



Forage d'un puits d'essai géothermique dans les roches sédimentaires du sous-sol de l'Université de Regina en Saskatchewan.

À ce jour, la B.C. Hydro a foré trois puits de 3 000 m de profondeur et a trouvé des températures allant jusqu'à 280° C; cependant, elle n'a pas encore découvert de zones importantes de production de vapeur. Elle s'est fixé au nombre de ses objectifs de déterminer le coût de l'électricité d'origine géothermique au Canada. Elle estime que les immobilisations dans l'électricité produite au mont Meager se chiffreront probablement à un dollar environ du watt installé. Bien que ce soit plus élevé que dans le cas d'une nouvelle centrale hydro-électrique, c'est moins que ne l'exige l'installation d'une centrale nucléaire ou une centrale thermique alimentée par un combustible fossile.

Les géologues fédéraux ont maintenant commencé à examiner d'autres possibilités de développement géothermique dans l'Ouest. Au mont Cayley, volcan voisin du mont Meager, ils ont constaté que la température augmente à raison de 94° C par kilomètre, soit en moyenne près de quatre fois plus rapidement que partout ailleurs dans le monde. Ils ont également trouvé des roches anormalement chaudes, quoique sèches, dans l'intérieur de la Colombie-Britannique, et explorent actuellement les petits bassins sédimentaires de la province. Toutefois, leur intérêt est centré sur l'énergie électrique produite au moyen de la vapeur ou de l'eau chaude de réservoirs souterrains, qui est aussi le débouché par excellence des ressources géothermiques de l'Ouest. D'après M. Alan Jessop, du ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources, nous pourrions produire 1 500 MW dans cette zone volcanique, d'ici l'an 2020. Ce n'est pas énorme, mais ce serait une contribution précieuse aux approvisionnements d'énergie du Canada.

Regina

On a entrepris de démontrer le principe du chauffage géothermique à l'Université de Regina en Saskatchewan. Les dossiers d'exploration pétrolière indiquaient la présence d'eau à 72° C dans une couche de roches sédimentaires sous la ville. Le service de recherche sur l'énergie de l'université envisagea donc de mettre ce réservoir en perce pour obtenir l'énergie nécessaire au chauffage des locaux et de l'eau d'un nouveau complexe sportif qui était prévu. En janvier 1979, grâce à l'assistance financière du gouvernement fédéral (et du provincial), une équipe de forage entreprit de creuser un puits de 2 215 m de profondeur sur le terrain de l'université. Les essais donnèrent des résultats encourageants, sauf que l'eau n'était pas aussi chaude qu'on l'avait d'abord cru. Pour une raison qu'on ne s'explique pas encore, la température du réservoir n'est que de 63° C, soit 10° de moins que celle du fond des puits avoisinants de même profondeur. Bien qu'on obtienne ainsi seulement 75% de l'énergie initialement prévue, cela suffit tout de même pour assurer une charge thermique adéquate: environ 3 MW. Si le projet se poursuit, un second puits sera creusé pour réinjecter l'eau refroidie dans le sol.

Les chercheurs de l'Université de Regina croient qu'il faudra 40 ans, à compter de l'achèvement du complexe et de la mise en service du système de chauffage, pour que la température du réservoir tombe au-dessous du seuil d'utilité. Ils croient également qu'il faudra 400 ans pour que le flux de chaleur de la Terre, qui est lent et constant, ramène la température du réservoir à son niveau actuel.

C'est un début modeste. Néanmoins, d'après M. Jessop, environ le quart de la population des villes de plus de 10 000 habitants des Prairies se chaufferont à l'énergie géothermique d'ici l'an 2050. À long terme, l'eau chaude des roches sédimentaires constituera vraisemblablement notre ressource géothermique la plus importante.

Les sources d'information

Organismes

British Columbia Hydro and Power Authority
19e étage, 970, rue Burrard
Vancouver (C.-B.) V6Z 1Y3
Publie des communiqués et a préparé un film sur le projet du mont Meager.

Bureau de recherches géologiques et minières
Avenue de Concyr
B.P. 6009 45060 Orléans, France
Publie des brochures sur la géothermie en France.

Conseil national de recherches Canada
Chemin de Montréal
Ottawa (Ontario) K1A 0R6

La bibliothèque de la Direction de l'énergie de l'Institut canadien de l'information scientifique et technique met des rapports sur l'énergie géothermique, ainsi que de nombreuses autres publications à la disposition du public par l'intermédiaire de prêts entre bibliothèques. La Direction de l'information publique publie et distribue gratuitement sur demande des brochures et la revue bilingue Science Dimension.

Énergie, Mines et Ressources Canada
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Geos, *une publication bilingue et trimestrielle sur les ressources de la Terre, est distribuée gratuitement sur demande. La Direction de la physique du globe a publié une série de rapports sur l'énergie géothermique et rassemble dans sa bibliothèque une grande collection de documents sur l'énergie géothermique.*

National Technical Information Service
5285 Port Royal Road
Springfield, Virginia U.S.A. 22161

Une bonne source d'information sur, entre autres sujets, les développements géothermiques aux États-Unis et dans d'autres pays.

Pacific Gas and Electric Company
77 Beale Street, Room 1722
San Francisco, California U.S.A. 94106
Le News Bureau *publie une pochette documentaire sur* Tne Geysers.

Lectures

Livres et brochures

Anonyme
La géothermie en France
Bureau de recherches géologiques et minières
Paris, 1978, 72 p.

Armstead, H. Cristopher
Geothermal Energy
Halstead Press, John Wiley and Sons, Inc.
New York, 1978, 357 p.
Passe en revue avec enthousiasme tous les progrès récents de l'énergie géothermique.

Bowen, Robert
Geothermal Resources
Applied Science Publishers
London, 1979, 243 p.

Jessop, M. Alan
Geothermal Energy from Sedimentary Basins
Geothermal Series #8, Énergie, Mines et Ressources Canada, 1976, 10 p.

Lewis, T.J., et J.G. Souther
Meager Mountain, B.C. A Possible Geothermal Resource
Geothermal Series #9, Énergie, Mines et Resources Canada, 1978, 17 p.

McDonald, Jim, Donna Pollack et Bob MacDermot
Hot Springs of Western Canada
Labrador Tea Company, Vancouver, 1981, 161 p.
Le guide complet.

Olivet, J., J. Deslandes et J.B. Hoffman
Le chauffage géothermique
Énergie de l'ingénierie, Le Raincy,
1976, 122 p.

Périodiques et articles

Canadian Renewable Energy News
Case postale 4869, Succursale E
Ottawa (Ontario) K1S 5B4
Un mensuel couvrant l'évolution de toutes les technologies dans le domaine de l'énergie renouvelable.

Geothermal Hotline
California Division of Oil and Gas
1416 Ninth Street, Room 1310
Sacramento, California U.S.A. 95814
Une publication semestrielle de l'État de la Californie.

Geothermal Energy Magazine
318 Cherrywood Street
West Covina, California, U.S.A. 91791

Gorrel, H.A.
"Hot Water under the Plains"
Geos, printemps 1978, 3 p.

Jessop, M. Alan
"Geothermal Energy: A Source of Energy for Canada?"
Geos, printemps 1975, 3 p.

Varet, Jacques
«La géothermie»
Science et Vie, mars 1979, 12 p.

Weaver, Kenneth F.
"Geothermal Energy: The Power of Letting off Steam"
National Geographic, octobre 1977, 14 p.